"盘乐交响"如何谱写解忧新章？音乐融合手势对负性情绪的调节效果

李天天[1]　欧静[1]　罗帏[2]　范雨晴[1]　王依依[1]

[1]（湖南大学设计艺术学院 湖南 410082）

[2]（湖南大学心理健康教育中心 湖南 410082）

摘要：

[目的] 探究音乐融合手势的多模态干预对负性情绪的调节作用。

[方法] 预实验进行手势诱导任务，通过计算一致率筛选出 15 名大学生中共识度最高的盘玩手势。正式实验采用视频观看情绪调节任务，考察 24 名大学生在纯音乐(商音、角音)与音乐融合手势(商音、角音)×(盘念珠、盘核桃)6 种条件下愉悦度-唤醒度-支配度(PAD)情感模型得分与心率变异性(HRV)。

[结果] 商音在提升愉悦度、唤醒度及抑制副交感神经方面优于角音，音乐融合手势在提升支配度和激活交感神经方面优于纯音乐，音乐融合盘念珠在提升愉悦度和抑制副交感神经方面优于音乐融合盘核桃和纯音乐。

[局限] 本研究样本量虽不符合传统心理学研究的样本量要求，但考虑到统计结果验证及跨学科特点，样本量设定具有合理性。

[结论] 音乐融合手势的多模态干预对负性情绪的调节效果优于纯音乐，当音乐风格与负性情绪具有一致性且手势的灵活性与稳定性更高时，调节效果更佳。

关键词：五行音乐　盘玩手势　多模态　情绪调节　心率变异性

分类号：B842　R395

How Does "Pan Le Jiaoxiang" Compose a New Chapter in Alleviating Sorrow?

Music-Fused Gestures for Regulating Negative Emotions

Li Tiantian[1], Ou Jing[1], Luo Wei[2], Fan Yuqing[1], Wang Yining[1]

[1] (Hunan University, School of Design and Arts, Hunan 410082, China)

[2] (Hunan University, Center for Psychological Health Education, Hunan 410082, China)

Abstract:

[Objective] To investigate the modulation effect of a multimodal intervention combining music and gestures on negative emotions.

[Methods] In a pilot study, a gesture induction task was conducted to select the most consensual pan-play gesture from 15 university students. In the formal experiment, 24 students participated in a video-based emotion regulation task. Participants were exposed to six conditions—pure music (Shang Yin and Jiao Yin) and music-fused gestures (Shang Yin and Jiao Yin combined with either Pan Nian Zhu

or Pan He Tao)—while their Pleasure-Arousal-Dominance (PAD) scores and heart rate variability (HRV) were measured.
[Results] Shang Yin music yielded significantly higher pleasure and arousal ratings and more effectively inhibited parasympathetic activity than Jiao Yin. Moreover, music-fused gestures produced greater dominance and sympathetic activation compared to pure music, and music-fused Pan Nian Zhu outperformed both music-fused Pan He Tao and pure music in enhancing pleasure and inhibiting parasympathetic activity.
[Limitations] Although the sample size does not conform to typical psychological research standards, it is justified by the statistical validation and interdisciplinary nature of the study.
[Conclusions] Multimodal interventions incorporating music-fused gestures are more effective in regulating negative emotions than pure music. The effect is further enhanced when the musical style aligns with the negative emotion and the gestures exhibit greater flexibility and stability.
Keywords： Five-Element Music Pan-Play Gestures Multimodality Emotion Regulation Heart Rate Variability

1 引言

现代快节奏的生活往往使年轻群体缺乏足够的精力调节自身情绪，沉溺于负性情绪的个体常因情绪耗竭而缺乏治疗动机(Coutinho et al.，2021) 。常规的情绪调节方法，如认知重评、注意分散和表达抑制等依赖于有意识情绪调节，即个体根据明确的调节目标，努力控制自身情绪，此过程通常需要消耗大量认知资源(Gross et al.，2015)。该特征可能引发非适应性结果，如专注力受损(Adams et al.，2015)、反向持久效应（再次面对相似场景激活更强烈的情绪反应）(M. Yang et al.，2021)以及心律不齐的生理反应(Ajaya et al.，2016)，这也是传统心理治疗中患者脱落率高的重要原因(高伟 等，2018)。相较而言，无意识情绪调节是指在没有明确指示或刻意控制的情况下，个体通过自下而上的神经激活进行情绪调节，具有低认知消耗特征(Gross et al.，2015)，其维持过程对个体动机水平需求较低，从而在提升干预依从性方面具有一定优势(Y. Zhang et al.， 2023; Yuan et al.，2023)。

Berthold-Losleben 等人(2021)的研究表明，音乐可以通过无指导、不费力的无意识加工机制达到在阈下水平改善情绪的效果。同时作为一种低成本的干预手段，它与快节奏社会中年轻群体的情绪管理需求相契合(Tan et al.，2024)。《黄帝内经》首次将音乐与中医五行理论结合，提出五个音阶(宫、商、角、徵、羽)分别归属五行(土、金、木、火、水)，其相生相克的关系有助于维持身心稳态(Lu et al.，2004)。五行音乐围绕着重的音阶与曲调形成了诸多经典曲目(潘良 等，2016)。多项实证研究证实了五行音乐对情绪调节的有效性(T. Yang et al.，2021; X. Wang et al.，2023)以及跨文化适应性(Liao et al.，2023)。基于“顺其肺腑施乐”原理，五种音调产生的声波频率能引发人体脏腑共振，从而实现阴阳平衡以促进情志调节(冯雪竹 等，2022)，例如，商音属金入肺可解忧，角音属木入肝可疏郁(张杰 等，2011)。音乐干预的适应性与其情绪效价密切相关(Tan et al.，2024)，了解商音与角音在情绪调节方面的特征可促进音乐干预的精准化应用。情绪一致性理论表明，处于负性情绪中的个体倾向于选择具有与自身情绪相似风格的音乐以获得情

感认同，该策略有助于促进情绪接纳与转化(Hunter et al.，2011; Vanden Tol et al.，2016)。因此，基于商音与角音的风格差异提出假设 **1:**商音对于负性情绪的调节效果优于角音。

具身视角下，心理神经过程与感觉运动活动相互依赖，身体运动和感官刺激对情绪体验的塑造至关重要(Fugate et al.，2024; 叶浩生 等，2021)。简单的手指敲击动作即可影响心血管适应，并通过自主神经系统维持生理平衡(Stearns et al.，2017)。“盘”作为中国古代流传下来的一种修身养性的活动，已广泛融入日常生活，并形成了独特的社会文化现象(樊进，2023)。盘玩关联着手部的精细运动以及对物件表面的交互体验，其运动特征呈现出手部往返或回旋的重复性动作(樊进，2023)，该手势的低认知消耗特性可通过感觉反馈促进情绪平衡(S. Li，2023)。因此，相较于单一的音乐干预，手势的介入可能进一步增强情绪调节效果。由此提出假设 **2:**音乐融合手势对于负性情绪的调节效果优于纯音乐。

多模态刺激的有效整合可促使个体产生心流体验(深度沉浸的积极状态)(Tan & Sin，2021)，有助于负性情绪的自动化消退(Zheng，2022; Raudenská et al.，2023)。因此，探索盘玩手势与音乐有效整合的具体形式至关重要。基于人机交互领域手势诱导研究，可以将盘玩手势依据三个维度分类：自然映射、身体部位和空间位置。自然映射指动作的触发机制，包含物理操作(手势对参照物进行直接操作)和隐喻模仿(手势模仿参照物的运动状态)，与行为-认知的匹配度相关；身体部位指产生相对运动的部位，包含手指、手腕和手臂，与运动的灵活性相关；空间位置指身体部位的运动路径包含线性、圆弧和圆，与运动的稳定性相关(Villarreal-Narvaez et al.，2024)。研究表明，肢体动作与听觉节奏的耦合作为节律性夹带的形式之一，可以有效促进心流体验(Trost & Vuilleumier，2013)。而灵活性、稳定性强的动作可能更利于维持与音乐节奏的同步性(Stupacher，2019)。由此提出假设 **3**:运动灵活性、稳定性强的盘玩手势更利于音乐背景下的情绪调节。

在非侵入性生物信号监测领域，已提出多种情绪的客观测量方法。其中，心率变异性(Heart Rate Variability，HRV)通过心电信号分析自主神经活动，是评估情绪状态的重要客观指标(Valderas et al.，2019)。自主神经系统由交感神经和副交感神经组成，在情绪调节过程中通过控制心肌、平滑肌和腺体的活动以维持内环境的稳态(Smith & Cardiff，2004) 。情绪细分有助于制定针对性调节策略，各类负性情绪可能存在差异化的自主神经特征。黄敏儿和郭德俊(2001)的研究发现年轻群体在日常生活中对悲伤情绪的感受频率较高。多项研究表明，相较于中性或积极情绪，在悲伤条件诱导被试产生消极情绪的过程中，HRV 指标呈现：HF、HRVi、SDNN 显著上升(Shi et al.，2017; Zhao et al.，2017; Rumpa et al.，2018; Cho et al.，2023)，LF/HF、LF 显著下降(Zhao et al.，2017; Ozden et al.，2024)。因此，本研究主要关注的 HRV 指标如表 1 所示。

表 1 本研究主要关注的 HRV 指标

HRV 指标	说明
正常心跳间隔的标准差 (Standard Deviation of RR Intervals，SDNN)	反映自主神经系统两个分支共同对心率变异性的贡献 (Umetani et al.，1998)
HRV 三角指数(Heart Rate Variability Triangular Index，HRVi)	相邻心跳之间时间间隔的直方图密度除以其高度的积分，可用于指示心律失常(Jovic & Bogunovic，2011)

高频成分(High Frequency，HF)	主要反映副交感神经的功能状态(Libby et al.，2012)
低频成分(Low Frequency，LF)	体现交感神经与副交感神经的联合作用(Appelhans & Luecken，2006)
交感平衡指数(Low Frequency to High Frequency Ratio，LF/HF)	鉴于低频成分可能受到副交感神经活动的影响，被视为自主神经平衡的指示性指标(Appelhans & Luecken，2006)

本研究理论框架如图 1 所示。为确保所研究的盘玩手势具有高代表性，预实验通过手势诱导任务筛选出大学生群体中的典型盘玩手势，以人机交互领域中评估参与者共识水平的一致率(Agreement Rate，AR(r))为参考指标进行分析(Vatavu & Wobbrock，2015)。正式实验采取视频情绪诱导任务，考察被试在音乐融合手势的不同干预条件下愉悦度-唤醒度-支配度(PAD)情感模型与心率变异性(HRV)，还利用 Python 语言与计算机视觉技术对施乐曲目和盘玩手势进行参数分析。研究结果有助于揭示音乐融合手势的多模态干预进行情绪调节的自主神经特征，为精准化情绪调节干预提供依据。

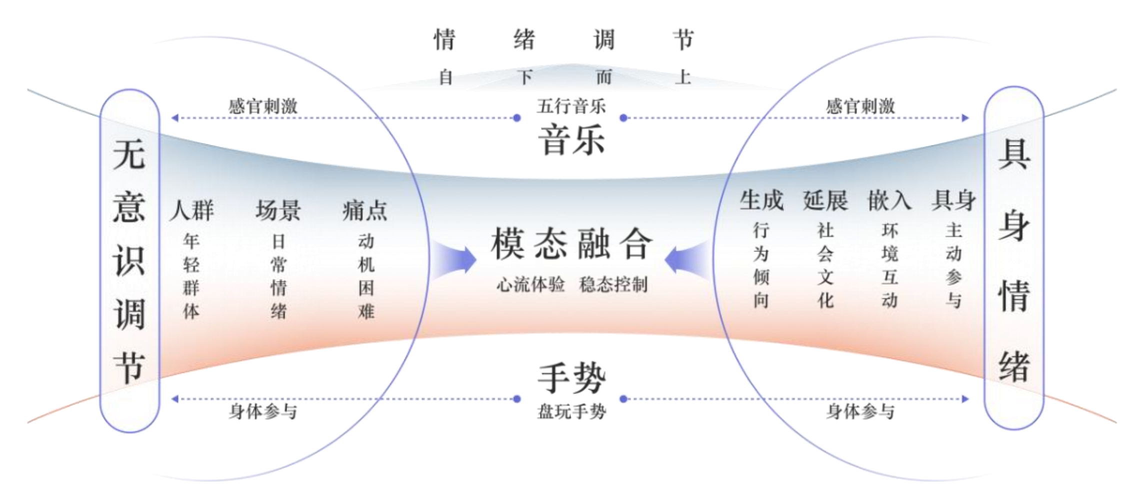


图 1 研究理论框架

2 预实验：手势筛选

2.1 实验方法

(1) 被试

参考手势诱导研究(Hung et al.，2022; Lilma et al.，2022; Bilius et al.，2023)，通过互联网在某大学招募 15 名(男性 7 人)20-25 岁的大学生参加本实验，被试均为右利手，无认知障碍或精神疾病。

(2) 实验材料

参照物：基于 5 种盘玩交互行为(旋转、滚动、揉搓、弹拨、敲击(樊进，2023))，确定 4 类盘玩件(念珠、核桃、转经筒、木鱼)的 6 种运动形式：A 敲击木鱼、B 盘核桃、C 揉搓单个核桃、D 旋转转经筒、E 盘念珠、F 绕指柔(张明，2006)。利用建模软件 Rhino 8 和渲染软件 Keyshot 11 制作参照物的运动视频(图 2)，排除手部操控对于被试动作的引导，仅保留物体运动的视觉刺激以启发被试手势。

视频还模拟出真实的环境光照和物体的材质效果，使得参与者能够更加直观地体验在现实环境中可能做出的手势。

视频录制设备 1 台：从被试身体的正左侧进行手势运动的视频录制；

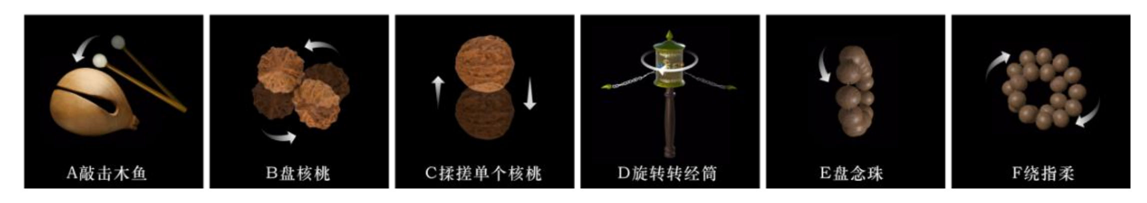


图 2 参照物运动视频示意图

(3) 实验流程

被试保持静坐姿势，右手置于桌面指定区域，左手放置于桌下以减少干扰。参照物按照随机顺序呈现于屏幕上，被试根据参照物的运动指引利用右手做出相应的盘玩手势。

(4) 数据分析

实验结束后，计算得到每个参照物的手势一致率 AR(r)，一致率越高说明被试对于该手势的共识程度越高(Vatavu & Wobbrock，2015)，评判标准参照上文手势诱导数据集分类方法。

$$\mathrm{AR}(\mathrm{r})=\frac{\sum_{i<j}\delta_{i,j}}{n\times(n-1)/2},\ n\text{Ơ ụ □}\ \ ,\ \delta_{i,j}=\begin{cases}1,\text{第}i\text{个和第}j\text{个参与者所做手势一致}\\0,\text{其他}\end{cases}\qquad(1)$$

2.2 结果

预实验共生成 90 个手势，归为 17 种类型(Villarreal-Narvaez et al.，2024)。根据式(1)计算得到各参照物 AR(r)(表 2)。其中，盘核桃(B)和盘念珠(E)具有最高一致率(AR(r) = 0.87)，说明被试心智中对于这两种手势的共识水平最高，故纳入正式实验。盘核桃手势由手指的依次屈伸运动构成，沿圆弧轨迹进行，模拟了对参照物的直接操作，整个过程不涉及自我接触。盘念珠手势由拇指推动与其余四指的协同运动组成，同样沿圆弧轨迹，模拟对参照物的直接操作，多数被试表现出拇指与食指的相互接触。

表 2 预实验参照物 AR(r)结果

参照物	A	B	C	D	E	F
AR(r)	0.55	0.87	0.27	0.74	0.87	0.40

3 正式实验：音乐融合手势对负性情绪的调节作用

3.1 实验方法

(1) 被试

参考类似研究(张瑾 等，2024; Gao et al.，2023; Yao & Xu，2024)，使用 G*Power 3.1 计算出重复测量方差分析(效应量:0.28，显著性水平:0.05，统计功效:0.80 最小样本量为 24 人。通过互联网在某大学招募 24 名 20-25 岁的大学生

参加本实验，被试均分为 2 组分别进行商音和角音介入的情绪调节任务。两组男女比例均为 1:1，且均为右利手，无认知障碍或精神疾病。

（2） 实验材料

情绪诱导视频：选自亚洲文化标准情绪视频库，包含 3 个悲伤情绪视频(Deng et al.，2017)；

五行音乐：选取商音和角音的代表曲目《阳春白雪》、《春风得意》；

手势参考视频：在相应情绪调节任务前播放，供被试熟悉盘核桃与盘念珠的动作；

PAD 情感模型：在情绪的主观评估领域，Mehrabian(1996)提出使用三个维度描述情绪体验：愉悦度(Pleasure)、唤醒度(Arousal)和支配度(Dominance)。愉悦度表示情感的正负特性，即积极或消极程度；唤醒度表示个体情绪的激活水平，即情绪反应的强烈程度；支配度表示个体对外界的影响力，即情绪的主观控制程度(Mehrabian，1996)。三维度分别作为坐标轴可构成 PAD 情感空间，参照 14 种基本情绪的 PAD 值(李晓明 等，2008)，即可计算出与被测情绪距离最近的基本情绪，从而判断被测情绪的情感倾向(蒋旎 等，2021)。为便于被试理解，结合九分制 SAM(Self-Assessment Manikin，SAM)量表(Bradley & Lang，1994)进行可视化评估，各维度分值范围[-4，4]。本研究中 SAM 量表的内部一致性系数为 0.84；

HRV 数据采集设备：采用 BITalino PsychoBIT 套件对被试的心电数据进行收集，采样率为 1000 Hz，使用 0.5 Hz 的高通和 35 Hz 的低通(彭婉晴 等，2019)。

视频录制设备 1 台：从被试身体的正左侧进行手势运动的视频录制；

（3） 实验流程

准备阶段，被试佩戴心率贴片并适应实验环境。

静息阶段，被试在舒适坐姿下测量静息态 HRV 并填写主观量表。

情绪诱导阶段，被试观看负性视频测量投入态 HRV 并填写主观量表。

情绪调节阶段，被试闭眼聆听音乐，同时以自我感觉舒适的状态进行手部空盘运动，测得调节态 HRV 并填写主观量表。

情绪诱导-调节任务重复三次，分别对应不同的负性视频和调节方式(纯音乐、音乐+盘核桃、音乐+盘念珠)，实验顺序做平衡处理。三项任务转换期间，被试休息 2 分钟以恢复平静。整体流程如图 3。

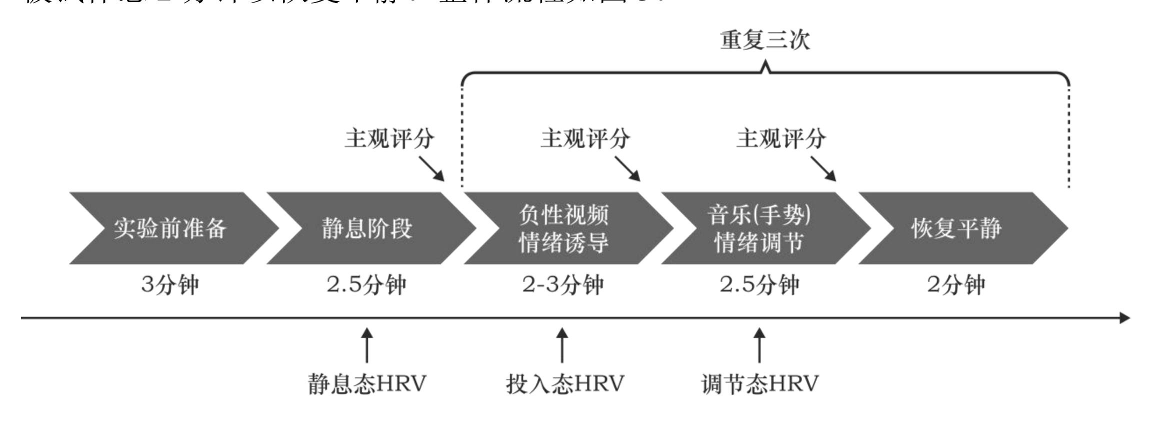


图 3 正式实验流程图

（4） 数据分析

通过计算欧式距离L_n确定与被测情绪最接近的基本情感类型。采用 Biopeaks 进行自动化数字滤波，随后采用目视法进行检验。最后采用 Kubios HRV Scientific 进行精确的 R 波检测，并对异常间期进行插值和平滑处理，以确保 HRV 指标的准确性。采用 SPSS 进行 7(阶段:静息、投入 A、调节 A、投入 B、调节 B、投入 C、调节 C)×2(音乐：商、角)的重复测量方差分析。A 阶段对应调节方式为(盘核桃+商/角音)、B 阶段为(盘念珠+商/角音)、C 阶段(商/角音)。在事后比较中均采用 Bonferroni 校正以控制第一类错误风险。非正态分布数据经自然对数校正处理。

$$L_n = \sqrt{(P_n - p)^2 + (A_n - a)^2 + (D_n - d)^2} \tag{2}$$

(p, a, d)为被测情绪坐标，(P_n, A_n, D_n)为基本情绪坐标

基于 Mediapipe 深度学习模型(Lugaresi et al.，2019)，利用 Python 语言实现的计算机视觉技术对手势进行三维运动学分析：选取录像(720p，60fps)中间 1 分钟作为稳态分析段，以平衡计算效率与数据代表性(Innocenti et al.，2022)；采用 21 点手部关键点框架，以手腕根部为原点进行坐标归一化(Bayd et al.，2024)；使用 Savitzky-Golay 滤波器对轨迹数据进行平滑处理以消除高频噪声，计算 5 指尖的 4 项运动学参数(轨迹变异系数 $\mathbf{C_v}$ 衡量轨迹的稳定性、速度标准差$\boldsymbol{\sigma_v}$衡量速度的稳定性、轨迹曲率标准差$\boldsymbol{\sigma_\kappa}$衡量轨迹的弯曲程度、轨迹长度 L 衡量整体运动路径的长度)(Ferraris et al.，2019; Taranta et al.，2020)；通过关键点连接关系生成标准手部解剖结构以构建平均手势骨架模型，叠加各指尖滤波后轨迹生成具象化运动模式图(Promsri，2022)。统计分析：采用因子分析对 5 指尖指标进行降维，构建 4 项综合指标以进行手势整体表征；对 4 项综合指标进行 2(手势:盘念珠×盘核桃)×2(音乐：商、角)的重复测量方差分析。利用 Librosa 库分析两首曲目的每分钟节拍数(BPM)(Bhattarai & Lee，2023)。

$$C_v = \frac{\sigma_d}{\mu_d},\ \sigma_v = std(v),\ v_i = \frac{d_i}{\Delta t},\ \sigma_k = std(k),\ k_i = \frac{|v_i \times a_i|}{|v_i|^3},\ a_i = \frac{v_i}{\Delta t},\ L = \sum_{i=1}^{N-1} d_i$$

d_i为 两点 的 氏 ，σ_d为所有d_i的均值，μ_d为所有d_i的标准差

Δt为相邻帧之间的时间距离，N Ơ

3.2 结果

（1） 主观评分

P 维度得分差异性分析。阶段的主效应显著 $F(6，132) = 110.22$，$p < 0.001$，$\eta_p^2 = 0.83$，音乐:阶段的交互效应显著 $F(6，120) = 4.27$，$p = 0.001$，$\eta_p^2 = 0.16$。简单效应(音乐&阶段)分析显示，商音组各投入阶段均显著低于静息阶段($p < 0.001$)，调节阶段均显著高于对应投入阶段以及静息阶段($p < 0.001$)，调节 B 阶段显著高于调节 A 阶段($p < 0.001$)和 C 阶段($p = 0.013$)。角音组投入阶段均显著低于静息阶段($p < 0.001$)，调节阶段均显著高于对应投入阶段($p < 0.001$)，调节 B 阶段显著高于调节 A 阶段、C 阶段和静息阶段($p < 0.001$)。简单效应(阶段&音乐)分析显示，调节阶段商音均显著高于角音($p = 0.003$，$p = 0.030$，$p = 0.001$)。综上，负性视频刺激显著降低了愉悦度，音乐及其融合手势的调节方式均显著提升了愉

悦度。其中，音乐融合盘念珠提升的愉悦度显著高于其他两种，商音及其融合手势提升的愉悦度显著高于角音及其融合手势。

A 维度得分差异性分析。阶段的主效应显著 $F(6，132) = 13.24$，$p < 0.001$，$\eta_p^2 = 0.38$。简单效应(音乐&阶段)分析显示，商音组投入阶段均显著低于静息阶段($p = 0.005$，$p = 0.034$，$p = 0.034$)，调节阶段均显著高于对应投入阶段($p = 0.013$，$p = 0.005$，$p = 0.034$)。角音组投入 A、C 阶段显著低于静息阶段($p = 0.034$)，调节 A、B 阶段显著高于对应投入阶段($p = 0.013$，$p < 0.001$)，调节 B 阶段显著高于调节 C 阶段($p = 0.002$)。简单效应(阶段&音乐)分析显示，调节 C 阶段商音显著高于角音($p = 0.028$)。综上，考虑到参加实验对被试兴奋程度的影响，除角音 B 阶段外，负性视频均显著降低了唤醒度。并且除纯角音调节外，音乐及其融合手势的调节方式均显著提升了情绪唤醒度。还发现角音融合盘念珠提升的唤醒度显著高于纯角音，此外，纯商音提升的唤醒度显著高于纯角音。

D 维度得分差异性分析。阶段的主效应显著 $F(6，120) = 15.97$，$p < 0.001$，$\eta_p^2 = 0.42$。简单效应(音乐&阶段)分析显示，商音组投入 C 阶段显著低于静息阶段($p = 0.016$)，调节 A、B 阶段显著高于对应调节 A、B 阶段($p = 0.007$，$p < 0.001$)。角音组投入 B 阶段显著低于静息阶段($p = 0.016$)，调节 A、B 阶段显著高于对应投入阶段($p = 0.001$，$p < 0.001$)。综上，考虑到负性视频本身对于支配度并不具有一致性，实验中仅有两个投入阶段的支配度显著降低。而音乐融合手势的调节方式显著提升了情绪支配度。

PAD 情感倾向计算。通过式(2)计算与各阶段被测情绪最接近的基本情感类型，本研究涉及的基本情绪类型及其坐标如表 3 所示(李晓明　等，2008)。静息阶段，商音组情感倾向为“悲伤”，角音组为“温和”，虽然两组情感倾向不同，但在方差分析中的各维度均未出现显著差异，因此情绪调节仍然有效。投入阶段，两组被试在负性视频的刺激下均呈现“悲伤”的情感倾向。纯音乐和音乐融合盘核桃的调节阶段，两组情感倾向由“悲伤”转为“温和”。音乐融合盘念珠的调节阶段，商音组情感倾向由“悲伤”转为“喜悦”，角音组情感倾向由“悲伤”转为“轻松”。表明音乐融合盘念珠的调节使被试表现出差异化的情感倾向。

表 3 本研究涉及的基本情绪类型及其坐标

基本情绪类型	P	A	D
喜悦	2.77	1.21	1.42
轻松	2.19	−0.66	1.05
温和	1.57	−0.79	0.38
悲伤	−0.89	0.17	−0.70

(2)　HRV 数据

HF 差异性分析。阶段的主效应显著 $F(6，120) = 19.74$，$p < 0.001$，$\eta_p^2 = 0.47$。简单效应(音乐&阶段)分析显示，商音组投入 A、C 阶段显著高于静息阶段($p = 0.036$)，$p = 0.006$)，调节阶均显著低于对应投入阶段($p = 0.029$，$p < 0.001$，$p = 0.036$)，调节 B 阶段显著低于调节 C 阶段($p = 0.038$)。角音组投入阶段均显著高

于静息阶段($p = 0.006$，$p = 0.045$，$p = 0.001$)，调节 A、B 阶段均显著低于对应投入阶段($p = 0.019$，$p < 0.001$)，调节 B 阶段显著低于调节 C 阶段($p < 0.001$)。简单效应(阶段&音乐)分析显示，调节 C 阶段角音组显著高于商音组($p = 0.047$)。综上，除商音 B 阶段外，负性视频刺激均显著提升了 HF，纯商音及音乐融合手势的调节方式均显著降低了 HF。其中盘念珠介入的调节方式降低的 HF 显著低于纯音乐，纯商音降低的 HF 显著低于纯角音。图 4 为商音组与角音组各阶段 HF 云雨图。

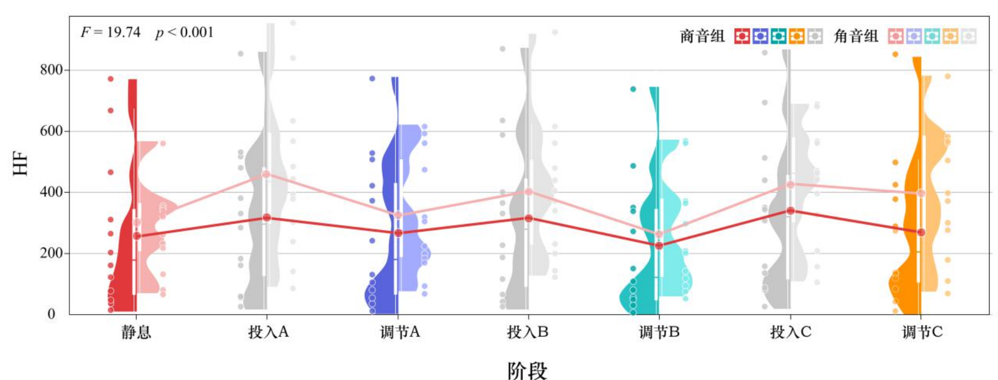


图 4 商音组与角音组各阶段 HF 云雨图

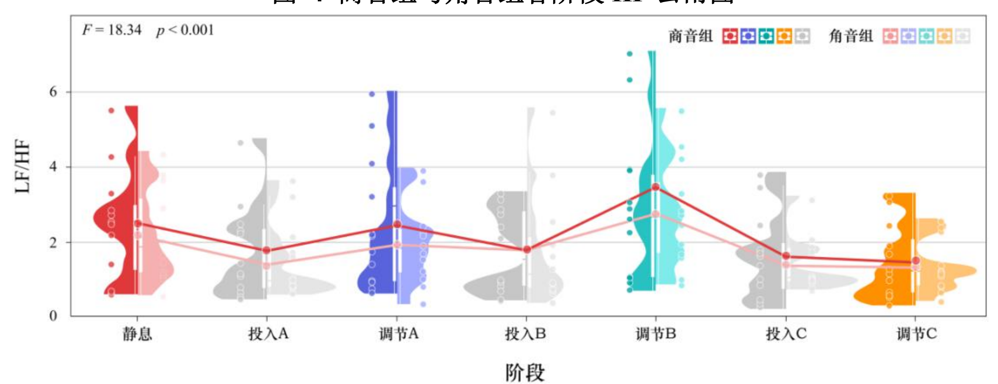


图 5 商音组与角音组各阶段 LF/HF 云雨图

LF/HF 差异性分析。阶段的主效应显著 $F(6，120) = 18.34$，$p < 0.001$，$\eta_p^2 = 0.46$。简单效应(音乐&阶段)分析显示，商音组投入 C 阶段显著低于静息阶段($p = 0.006$)，调节 B 阶段显著高于对应投入阶段($p < 0.001$)，调节 A、B 阶段显著高于投入 C 阶段($p = 0.021$，$p < 0.001$)，静息阶段显著高于调节 C 阶段($p = 0.004$)。角音组投入 A、C 阶段显著高于静息阶段($p = 0.008$，$p = 0.043$)，调节 B 阶段显著高于对应投入阶段($p < 0.001$)，调节 B 阶段显著高于调节 A、C 阶段($p = 0.047$，$p < 0.001$)，调节 C 阶段显著低于静息阶段($p = 0.010$)。综上，部分阶段的负性视频显著降低了 LF/HF，音乐融合盘念珠的调节方式显著提升了 LF/HF 并且显著高于纯音乐。还发现商音融合盘核桃提升的 LF/HF 显著高于纯商音，而角音融合盘念珠提升的 LF/HF 显著高于角音融合盘核桃。图 5 为两组各阶段 LF/HF 云雨图。

SDNN 差异性分析。音乐的主效应显著 $F(1，20) = 4.86$，$p = 0.038$，$\eta_p^2 = 0.18$。表明角音组 SDNN 显著高于商音。

HRVi 差异性分析。音乐:阶段的交互作用显著 $F(6，120) = 2.18$，$p = 0.049$，$\eta_p^2 = 0.09$。简单效应(阶段&音乐)分析显示，调节 C 阶段角音显著高于商音($p = 0.018$)。表明在纯音乐调节过程中角音 HRVi 显著高于商音。

（3） 手势运动学及音频分析

4 项指标进行因子分析均提取出 1 个因子，速度标准差、轨迹长度、轨迹曲率标准差、轨迹变异系数方差解释率分别为 85.37%、87.19%、77.80%、90.97%。

速度标准差差异性分析。手势的主效应显著 $F(1，22) = 60.36$，$p < 0.001$，$\eta 2\ p = 0.73$。盘核桃速度标准差显著高于盘念珠。

轨迹长度差异性分析。手势的主效应显著 $F(1，22) = 66.01$，$p < 0.001$，$\eta 2\ p = 0.75$。盘核桃轨迹长度显著高于盘念珠。

轨迹曲率标准差差异性分析。手势的主效应显著 $F(1，22) = 39.58$，$p < 0.001$，$\eta 2\ p = 0.64$。盘念珠轨迹曲率标准差显著高于盘核桃。

轨迹变异系数各效应均不显著。

轨迹分布图如图 6 所示。

角音曲目《春风得意》BPM 为 112.35，商音曲目《阳春白雪》BPM 为 129.20。

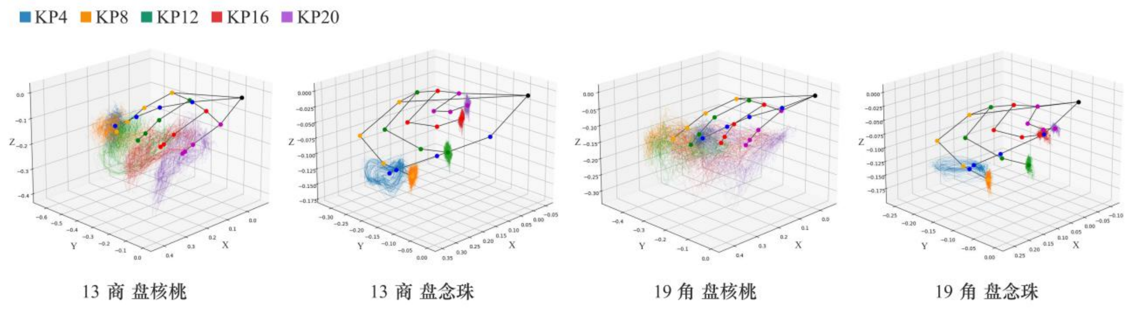


图 6 手势轨迹分布图(以 13、19 号被试为例)

3.3 正式实验小结

情绪包含人类经验意识产生的主观成分以及对生理状况进行评估的客观成分(Fourcade et al.，2024)。本研究 PAD 情感模型得分表明，被试在静息态-投入态-调节态，经历了负性视频诱导的悲伤情绪以及音乐融合手势调节下情绪的恢复与提升，愉悦度、唤醒度、支配度均呈先降低后升高的趋势。HRV 生理指标表明，HF 与 LF/HF 分别呈先升高后降低和先降低后升高的趋势，与前人研究一致(Shi et al.，2017; Zhao et al.，2017; Ozden et al.，2024)。因此，HF 与 LF/HF 作为本研究的关键性生理指标在实验过程中对被试情绪的表征具有重要意义。

HF 主要反映副交感神经的功能状态(Libby et al.，2012)，LF 体现了交感神经与副交感神经的联合作用，鉴于 LF 可能受到副交感神经活动的影响，LF/HF 被视为自主神经平衡的指示性指标(Appelhans & Luecken，2006)。通常情况下，交感神经和副交感神经交替起主导作用，例如在静息状态，副交感神经作用占主导，但是随着唤醒水平增加，副交感神经活动逐渐减弱，交感神经活动相应增强，情绪调节就依靠两者的相互协调来实现(彭婉晴 等，2019；Cho et al.，2023)。情绪具有复杂性，不同的情绪在调节过程中呈现不同的身心反应(Visnovcova et al.，2021；Behnke et al.，2022；Pasquini et al.，2023)，悲伤是一种低唤醒度的负性情绪(李晓明 等，2008)，通常伴随情绪低落、动机缺乏和能量消耗等特征。在本实验投入阶段，被试处于悲伤的情绪状态，生理反应较为“沉寂”，副交感神经活动增强导致 HF 提升，同时交感神经活动减弱导致 LF/HF 降低，表明身体处于放松但低能量的状态(Cho et al.，2023；Fourcade et al.，2024)。在情绪调节阶段，个体逐步从低能量状态中恢复，唤醒度提升，生理上伴随副交感神经活动减少，HF 也随之降低，同时交感神经活动增加，LF/HF 随之升高(Cho et al.，2023；

Fourcade et al.，2024)。因此，在悲伤情绪的调节过程中，副交感神经的消退和交感神经的激活可能标志着个体逐步摆脱低能量的消极状态，进入更活跃的积极状态，反映了自主神经系统在情绪调节中对内环境稳态的追求(Smith & Cardiff，2004)。

自主神经活动与情绪变化密切相关，但目前尚无法识别与特定情绪类型相关的神经模式(Fourcade et al.，2024)。HRV 指标也受到如实验条件、分析方法、个体注意力变化和呼吸速率等因素的影响(Ozden et al.，2024; Fourcade et al.，2024)，因此应当结合主观评估或其他生理指标进行综合分析(Pasquini et al.，2023)。情绪体验中，心脏和大脑之间的双向信息流发挥着重要作用，二者的联合分析有望更全面地捕捉情绪调节过程中的生理学特征(Fourcade et al.，2024)。未来研究可以结合多种生理指标，如脑电、呼吸带和注意力测量，以深入探讨音乐融合手势在情绪调节过程中的自主神经特征。

4　讨论

本研究基于 PAD 模型与 HRV 指标，验证五行音乐融合盘玩手势对大学生悲伤情绪的多模态调节优势。研究发现愉悦度与唤醒度的提升伴随副交感神经抑制（HF 降低）及交感神经激活（LF/HF 升高），反映消极低沉向积极激活的生理-心理转换。结果表明商音与角音、盘念珠介入与其他干预方式均具有差异化情绪调节效果。

4.1　商音对于负性情绪的调节效果优于角音

研究发现，无论是否融合手势，商音对于愉悦度和唤醒度的提升效果均优于角音。同时，纯商音对于 HF 的降低效果优于纯角音，还发现商音组 SDNN 和纯音乐调节阶段(手势介入可能一定程度上降低了音乐类型对 HRVi 的影响)HRVi 显著低于角音组。结合前人研究表明(Shi et al.，2017; Zhao et al.，2017; Rumpa et al.，2018; Cho et al.，2023)，在商音介入的情绪调节过程中被试的情绪状态更积极。因此，相较于角音而言，商音在悲伤情绪的调节过程中对于愉悦度和唤醒度的提升以及副交感神经活动的减弱具有一定优势，使得被试的情绪状态更积极，验证了假设 1 的正确性。

商音与角音具有不同的节奏、音高等声学特征及其形成的情感表达(Liu et al.，2024)。张丽等人(2017)的研究发现，快速音乐对于唤醒度的提升显著优于慢速音乐，本研究中商音曲目速度(129.20BPM)高于角音曲目(112.35BPM)，一定程度上提高了被试的神经兴奋性。此外，中医“顺其脏腑施乐”原理认为悲伤劳损肺气，应用商音调节肺气以治过忧，而肺为脏，属阴，大肠属腑，属阳，两者通过经脉的相互络属构成脏腑表里关系，生理关系密切(张杰　等，2011)。不同物质因结构差异，固有振动频率各异，当外力振动频率接近物质固有频率时，振幅达到最大并发生共振，此即共振频率。实证研究发现，大肠经共振频率 65.41Hz 是肺经共振频率 32.70Hz 的两倍，两者的共同倍频 327Hz 正处于商音频率 294~328Hz 范围内，达到了频率共振，从而促进了机体稳态与神经调节(潘良　等，2016)。最后，在音乐的情感表达上，与西方大调、小调表达的情绪相类似(Poon & Schutz，2015)，商音高亢悲壮、角音舒畅悠扬。情绪一致性理论表明，处于悲伤情绪的个体会增强对悲伤风格音乐的偏好，以此获得心理认同并更好地接纳负面情境，从而提升情绪积极性(Hunter et al.，2011; Vanden Tol et al.，2016)。还有

研究发现，悲伤的音乐可能通过催乳素浓度的变化带来安慰效果，从而唤起愉悦感(Huron et al.，2011)，这种生理上的安慰作用可能与情绪恢复过程中自主神经平衡有关。

在情绪调节领域，目前对五行音乐的研究多集中于临床试验，未来需进一步深化其机理。如 Qian Feng 等人(2022)发现，与西方古典音乐和重金属音乐相比，五行音乐能显著提高细胞线粒体能量生成并降低活性氧水平，从而对细胞生长和抗氧化能力产生积极影响(Feng et al.，2022)。此外，音乐结构的可预测性及个体紧张感与情绪调节存在一定关联，未来研究可以进一步探讨这些因素在不同文化背景下的具体效应(Turrell et al.，2025)。

4.2　音乐融合手势对于负性情绪的调节效果优于纯音乐

研究发现，手势介入的调节优势主要体现在支配度的提升，进一步发现具体手势-盘念珠介入的调节优势还体现在愉悦度的提升。鉴于纯角音在提升情绪唤醒度的效果有限，手势尤其是盘念珠在一定程度上弥补了这一不足。此外，手势介入的调节优势还体现在 LF/HF 的提升，反映交感神经的活跃。因此，相较于纯音乐调节而言，手势介入的调节优势主要体现在支配度的提升和交感神经的活跃，对于角音还体现在唤醒度的提升，验证了假设 2 的正确性。

情绪具有 4E 特征(Embodied，Embedded，Extended and Enactive)，具身、嵌入、延展和生成(叶浩生　等，2021)。在此背景下，手势通过身体的主动参与使情绪调节成为具身的过程，增强了个体与嵌入的音乐环境的互动，提升了情绪调节的沉浸感。同时，延展到盘玩的社会文化意涵（如"静心养性"隐喻）对心智的影响，盘玩与听音乐行为本身具有了情绪调节的意义从而激活了个体经验，其行为可供性为个体的动作执行提供了自然的契机(Newen et al.，2018)，最终驱动行为的自发性。因此，音乐与手势可能通过感官刺激与具身参与的整合机制优化了个体情绪体验。

具身视角下身体的主动参与和个体心智、社会环境紧密相连。盘玩作为承载着文化因素的传统手势，对于中国被试的心智存在潜移默化的影响，使其在情绪调节中展现出一定的优势。有研究发现，是否接受过音乐训练会影响音乐感知与运动的同步性(Nguyen et al.，2022)，并且接受过音乐训练的群体认为敲击行为更具情感表现力(Wang et al.，2024)。因此，未来研究可以进一步明确训练经验和跨文化因素对调节效能的影响，以构建普适性情绪干预模型。

4.3　运动灵活性、稳定性强的盘玩手势更利于音乐背景下的情绪调节

研究发现，相较于纯音乐与盘核桃介入的调节效果，盘念珠介入的调节优势主要体现在愉悦度的提升和 HF 的降低，对于角音同样还体现在唤醒度的提升。由此可见，即使盘玩手势属于轻微的手部运动，也能通过身体的具身参与增加被试对自我情绪的掌控感，并在一定程度上激活了被试的情绪兴奋性，促使被试从"沉寂"的悲伤情绪中恢复。进一步分析，相较于盘核桃，盘念珠的手势聚焦于拇指的精细运动，运动部位更集中且轨迹更短，利于产生持续均匀的位移。结合运动学数据，盘念珠的轨迹曲率标准差显著更高、轨迹长度显著更短，结合其聚焦的轨迹分布表明，其运动轨迹包含更多方向变化与几何多样性，从而灵活性更高；此外，盘念珠的速度标准差显著更低，表明其动作节奏均匀，动态力控波动小，结合轨迹分布图可以得出，其轨迹重复性优于盘核桃的弥散分布。尽管轨迹变异系数未达统计显著，但其轨迹分布模式与其余 3 项指标共同指向运动的高灵活

性、稳定性，因此验证了假设 3 的正确性。

盘念珠手势可能因其较强的运动灵活性与稳定性，利于与音乐节奏协调并形成稳定的节律性夹带，以此促进调节过程中心流体验的发生，从而增强了情绪的积极性(Trost & Vuilleumier，2013)。本研究尚未对音乐与手势节奏的同步性进行具体测量分析，目前，也鲜有研究探讨音乐与手势节奏同步性对情绪调节效果的影响。然而，一些关于音乐与运动节奏同步性的研究对节律性夹带的客观测量以及自我感知进行了探讨。例如，Innocenti 等人(2022)开发了一系列工具，能够客观量化音乐与运动之间不同形式的节律性夹带，并根据夹带的存在、程度、幅度对其进行详细描述。此外，Matthews 等人发现(2022)，个体在敲击实验中对节奏同步性的主观感知与客观测量结果之间存在差异，这可能会影响个体跟随音乐运动的愉悦感，进而对情绪调节造成潜在影响。

在此基础上，未来研究可以采取客观测量结合主观感知的方式，进一步探讨音乐与手势的节奏同步性对于情绪调节的影响。此外，有研究表明触觉刺激(如轻拍)能够触发个体对依恋和舒适的感知，从而通过自主神经的稳态控制促进情绪调节(Fotopoulou et al.，2022)。本研究中多数被试在盘念珠介入的实验中产生了拇指与食指的接触，可能进一步通过触觉感知强化情绪调节效果。

5　结论

本研究将“盘”文化引入情绪调节领域，通过手势诱导实验筛选出大学生群体中共识度高的盘玩手势，并与五行音乐融合进行多模态干预。结合 HRV 生理指标和 PAD 情感模型，探究个体在悲伤情绪的不同干预条件下主观情绪体验与自主神经活动，揭示了 HF、LF/HF 以及愉悦度、唤醒度对情绪表征的重要作用。

主要发现如下：(1)盘核桃和盘念珠是大学生被试中具有最高一致率的盘玩手势；(2)无论是否融合手势，商音对于愉悦度和唤醒度的提升效果均优于角音；(3)纯商音对于 HF 的降低效果优于纯角音，商音组 SDNN 以及纯音乐调节阶段 HRVi 显著低于角音组；(4)手势介入对于支配度的提升效果优于纯音乐，具体手势-盘念珠介入的调节优势还体现在愉悦度的提升，手势尤其是盘念珠的介入可以在一定程度上弥补纯角音对于提升唤醒度的不足；(5)手势介入对于 LF/HF 的提升效果优于纯音乐，具体手势-盘念珠介入的调节优势还体现在 HF 的降低；(6)盘念珠的运动灵活性、稳定性比盘核桃更高。因此，商音在悲伤情绪的调节过程中对于愉悦度和唤醒度的提升以及副交感神经活动的减弱效果优于角音。音乐融合手势对于支配度的提升和交感神经的激活效果优于纯音乐，对于角音此优势还体现在唤醒度的提升。音乐背景下，盘念珠手势的介入对于愉悦度的提升和副交感神经活动的减弱效果优于盘核桃和纯音乐，对于角音此优势还体现在唤醒度的提升。

结果表明，音乐融合手势的多模态干预对负性情绪的调节效果优于纯音乐，当音乐风格与负性情绪具有一致性且手势的灵活性与稳定性更高时，调节效果更优。研究结果有助于理解个体情绪调节过程中的自主神经活动特征，以期对现有情绪调节方式提供创新补充。

参考文献：

[1] Adams, A. T., Costa, J., Jung, M. F., & Choudhury, T. (2015). Mindless Computing: Designing Technologies to Subtly Influence Behavior. Proceedings of the ACM International Conference on Ubiquitous Computing, 719-730.

[2] Appelhans, B. M., & Luecken, L. J. (2006). Heart rate variability as an index of regulated emotional responding. Review of General Psychology, 10(3), 229–240.

[3] Bayd, H., Guyot, P., Bardy, B., & Slangen, P. (2024). Scoring synchronization between music and motion: Local vs global approaches. In Proceedings of the 32nd European Signal Processing Conference (EUSIPCO) (pp. 636–640). Lyon, France.

[4] Behnke, M., Kreibig, S. D., Kaczmarek, L., Assink, M., & Gross, J. J. (2022). Autonomic nervous system activity during positive emotions: A meta-analytic review. Emotion Review, 14, 17540739211107300.

[5] Berthold-Losleben, M., Papalini, S., Habel, U. et al. (2021). A short-term musical training affects implicit emotion regulation only in behaviour but not in brain activity. BMC Neurosci, 22, 30.

[6] Bhattarai, B., & Lee, J. (2023). A Comprehensive Review on Music Transcription. Applied Sciences, 13(21), 11882.

[7] Bilius, L.-B., Ungurean, O.-C., & Vatavu, R.-D. (2023). Understanding wheelchair users' preferences for on-body, in-air, and on-wheelchair gestures. In Proceedings of the 2023 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI '23). Association for Computing Machinery, New York, NY, USA. Article 78, 1–16.

[8] Bradley, M. M., & Lang, P. J. (1994). Measuring emotion: the self-assessment manikin and the semantic differential. Journal of behavior therapy and experimental psychiatry, 25(1), 49-59.

[9] Cho, A., Park, S., Lee, H., & Whang, M. (2023). The physiological measurement and evaluation of empathy of video content. Scientific Reports, 13, 20190.

[10] Coutinho, E., Alshukri, A., de Berardinis, J., & Dowrick, C. (2021). POLYHYMNIA Mood – Empowering people to cope with depression through music listening. In Adjunct Proceedings of the 2021 ACM International Joint Conference on Pervasive and Ubiquitous Computing and Proceedings of the 2021 ACM International Symposium on Wearable Computers (UbiComp/ISWC '21 Adjunct) (pp. 188-193). Association for Computing Machinery, New York, NY, USA.

[11] Deng, Y., Yang, M., & Zhou, R. (2017). A new standardized emotional film database for Asian culture. Frontiers in Psychology, 8, 1941.

[12] 樊进. (2023). "盘"的社会文化思考及其对现代手工艺的启示. 南京艺术学院学报(美术与设计), (04), 79-84.

[13] Feng, Q., Wang, L., Chen, Y., Teng, J., Li, M. M., Cai, Z. Z., Niu, X. G., Rein, G., Yang, Q. L., Shao, X. Q., Zhang, C., & Bai, X. M. (2022). Effects of different music on HEK293T cell growth and mitochondrial functions. EXPLORE, 18(6), 670–675.

[14] 冯雪竹, 李喆, 王可.(2022).中医五音疗法治疗抑郁障碍及相关症状的进展. 中国药物依赖性杂志, 31(04):271-275.

[15] Fotopoulou, A., von Mohr, M., & Krahé, C. (2022). Affective regulation through touch: homeostatic and allostatic mechanisms. Current opinion in behavioral sciences, 43, 80–87.

[16] Fourcade, A., Klotzsche, F., Hofmann, S., Mariola, A., Nikulin, V. V., Villringer, A., et al. (2024). Linking brain-heart interactions to emotional arousal in immersive virtual reality. Psychophysiology, 61(12): e14696.
[17] Fugate, J. M. B., Macrine, S. L., & Hernandez-Cuevas, E. M. (2024). Therapeutic potential of embodied cognition for clinical psychotherapies: From theory to practice. Cogn Ther Res, 48, 574 – 598.
[18] 高伟，陈圣栋，龙泉杉，杨洁敏，袁加锦.(2018). 情绪调节研究方法的蜕变：从有意情绪调节到自动化情绪调节. 科学通报，63(4), 415-424.
[19] Gao, K. X., Zhang, Y. Y., Li, S. J., Yuan, J. J., Li, H., & Zhang, D. D. (2023). Ventromedial prefrontal corte x plays a critical role on implicit emotion regulation: A tDCS study. Acta Psychologica Sinica, 55(2), 210 – 223.
[20] Gross, J. J. (2015). Emotion regulation: Current status and future prospects. Psychological inquiry, 26(1), 1-26.
[21] 黄敏儿，郭德俊. (2001). 大学生情绪调节方式与抑郁的研究. 中国心理卫生杂志，(06), 438-441.
[22] Hung, C.-W., Chang, R.-C., Chen, H.-S., Liang, C. H., Chan, L., & Chen, B.-Y. (2022). Puppeteer: Manipulating human avatar actions with intuitive hand gestures and upper-body postures. In Adjunct Proceedings of the 35th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology (UIST '22 Adjunct). Association for Computing Machinery, New York, NY, USA. Article 3, 1 – 3.
[23] Innocenti, L., Nicolò, A., Massaroni, C., Minganti, C., Schena, E., & Sacchetti, M. (2022). How to Investigate the Effect of Music on Breathing during Exercise: Methodology and Tools. Sensors, 22(6), 2351.
[24] Hunter, P., Schellenberg, E., & Griffith, A. (2011). Misery Loves Company: Mood-Congruent Emotional Responding to Music. Emotion, 11(3), 1068-1072.
[25] Huron, D. (2011). Why is sad music pleasurable? A possible role for prolactin. Musicae Scientiae, 15(2), 146-158.
[26] 蒋旎，李然，刘春尧，房慧.(2021). PAD 情感模型在用户情感体验评估中的应用. 包装工程，(22), 413-420.
[27] Jovic, A., & Bogunovic, N. (2011). Electrocardiogram analysis using a combination of statistical, geometric, and nonlinear heart rate variability features. Artificial Intelligence in Medicine, 51, 175 – 186.
[28] Li, S. (2023). How does the Chinese exercise of walnuts rotating lead to health? Gazzetta Medica Italiana - Archives of Medical Science, 182, 449-454.
[29] 李晓明，傅小兰，邓国峰.(2008). 中文简化版 PAD 情绪量表在京大学生中的初步试用. 中国心理卫生杂志(05), 327-329.
[30] Liao, J., Papathanassoglou, E., Zhang, X., Li, Q. N., Gupta, A., Lu, F., Wu, Y., & Frishkopf, M. (2023). A cross-cultural randomized pilot trial of western-based and five elements music therapy for psychological well-being. Explore, 19, 571 – 577.
[31] Libby, D. J., Worhunsky, P. D., Pilver, C. E., & Brewer, J. A. (2012). Meditation-induced changes in high-frequency heart rate variability predict smoking outcomes. Frontiers in Human Neuroscience, 6, 54.
[32] Lilma, R., Shitara, A., & Ochia, Y. (2022). Designing Gestures for Digital Musical Instruments: Gesture Elicitation Study with Deaf and Hard of Hearing People. Proceedings of the 24th International ACM SIGACCESS Conference on Computers and Accessibility.

[33] Liu, Y., Bi, K., Hodges, S., & Kong, J. (2024). Harmonious Healing: Advances in Music Therapy and other Alternative Therapy for Depression and Beyond. Brain Behavior and Immunity Integrative, 8, 100094.

[34] Lu, A. P., Jia, H. W., Xiao, C., & Lu, Q. P. (2004). Theory of traditional Chinese medicine and therapeutic method of diseases. World Journal of Gastroenterology, 10, 1854–1856.

[35] Lugaresi, C., Tang, J., Nash, H., McClanahan, C., Uboweja, E., Hays, M., Zhang, F., Chang, C., Yong, M. G., Lee, J., Chang, W., Hua, W., Georg, M., & Grundmann, M. (2019). MediaPipe: A Framework for Building Perception Pipelines. arXiv, 1906.08172.

[36] Matthews, T. E., Witek, M. A. G., Thibodeau, J. L. N., Vuust, P., & Penhune, V. B. (2022). Perceived motor synchrony with the beat is more strongly related to groove than measured synchrony. Music Perception, 39(5), 423–442.

[37] Mehrabian, A. (1996). Pleasure-arousal-dominance: A general framework for describing and measuring individual differences in Temperament. Current Psychology, 14, 261–292.

[38] Min, J., Koenig, J., Nashiro, K. et al. (2023). Sex Differences in Neural Correlates of Emotion Regulation in Relation to Resting Heart Rate Variability. Brain Topogr, 36, 698–709.

[39] Newen, A., De Bruin, L., & Gallagher, S. (Eds.). (2018). The Oxford handbook of 4E cognition. Oxford University Press.

[40] Nguyen, T., Sidhu, R. K., Everling, J. C., Wickett, M. C., Gibbings, A., & Grahn, J. A. (2022). Beat perception and production in musicians and dancers. Music Perception, 39(3), 229–248.

[41] Ozden, H. C., Gurel, S. C., Ozer, N., & Demir, B. (2024). Bidirectionality of LF when the movie makes you sad: Effects of negative emotions on heart rate variability among patients with major depression. Journal of Psychosomatic Research, 184, 111855.

[42] 潘良, 樊笛, 胡慧.(2016).基于声波共振原理探讨五音治病的作用机制.北京中医药大学学报(09),731-733.

[43] Pasquini, L., Noohi, F., Veziris, C. R., Kosik, E. L., Holley, S. R., Lee, A., Brown, J. A., Roy, A. R. K., Chow, T. E., Allen, I., Rosen, H. J., Kramer, J. H., Miller, B. L., Saggar, M., Seeley, W. W., & Sturm, V. E. (2023). Dynamic autonomic nervous system states arise during emotions and manifest in basal physiology. Psychophysiology, 60, e14218.

[44] 彭婉晴, 罗峙, 周仁来. (2019). 工作记忆刷新训练改善抑郁倾向大学生情绪调节能力的 HRV 证据. 心理学报, 51(06), 648-661.

[45] Poon, M., & Schutz, M. (2015). Cueing musical emotions: An empirical analysis of 24-piece sets by Bach and Chopin documents parallels with emotional speech. Frontiers in Psychology, 6, 1419.

[46] Promsri, A. (2022). Assessing Walking Stability Based on Whole-Body Movement Derived from a Depth-Sensing Camera. Sensors, 22(19), 7542.

[47] Raudenská, J., Šteinerová, V., Vodičková, Š., et al. (2023). Arts Therapy and Its Implications in Chronic Pain Management: A Narrative Review. Pain Therapy, 12, 1309–1337.

[48] Rumpa, L. D., Wibawa, A. D., Attamimi, M., Sampelawang, P., Purnomo, M. H., & Palelleng, S. (2018). Analysis on Human Heart Signal during Sad Video Stimuli using Heart Rate Variability Triangular Index (HRVi). In 2018 International Conference on Computer Engineering, Network and Intelligent Multimedia (CENIM) (pp. 25-28). Surabaya, Indonesia.

[49] Shi, H., Yang, L., Zhao, L., et al. (2017). Differences of Heart Rate Variability Between Happiness and Sadness Emotion States: A Pilot Study. Journal of Medical and Biological Engineering, 37, 527-539.

[50] Smith, E. M., & Cardiff. (2004). The central nervous system: Structure and function. Journal of Neurology, Neurosurgery & Psychiatry, 75(8), 1790.

[51] Stearns, S. S., Fleming, R., & Fero, L. J. (2017). Attenuating Physiological Arousal Through the Manipulation of Simple Hand Movements. Appl Psychophysiol Biofeedback, 42, 39–50.

[52] Tan, L., & Sin, H. X. (2021). Flow research in music contexts: A systematic literature review. Musicae Scientiae, 25(4), 399-428.

[53] Tan, M., Zhou, X., Shen, L., Li, Y., & Chen, X. (2024). Music's Dual Role in Emotion Regulation: Network Analysis of Music Use, Emotion Regulation Self-Efficacy, Alexithymia, Anxiety, and Depression. Depression and Anxiety, 2024(1), 1790168.

[54] Taranta, E. M., Pittman, C. R., Oakley, J. P., Maslych, M., Maghoumi, M., & LaViola, J. J. (2020). Moving Toward an Ecologically Valid Data Collection Protocol for 2D Gestures In Video Games. In Proceedings of the 2020 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI '20) (pp. 1–11). Association for Computing Machinery, New York, NY, USA.

[55] Trost, W., & Vuilleumier, P. (2013). Rhythmic entrainment as a mechanism for emotion induction by music. In The Emotional Power of Music (pp. 213-225).

[56] Turrell, A. S., Halpern, A. R., Bannister, K., Chai-Wi-Ting, D., & Javadi, A. H. (2025). Building the anticipation: How variation in tension mediates emotions in music. Music Perception, 42(3), 256–268.

[57] Umetani, K., Singer, D. H., McCraty, R., & Atkinson, M. (1998). Twenty-four hour time domain heart rate variability and heart rate: relations to age and gender over nine decades. J Am Coll Cardiol, 31, 593–601.

[58] Valderas, M. T., Bolea, J., Orini, M., Laguna, P., Orrite, C., Vallverdú, M., & Bailón, R. (2019). Human Emotion Characterization by Heart Rate Variability Analysis Guided by Respiration. IEEE Journal of Biomedical and Health Informatics, 23(6), 2446-2454.

[59] Vanden Tol, A. J. M., Edwards, J., & Heflick, N. A. (2016). Sad music as a means for acceptance-based coping. Musicae Scientiae, 20(1), 68-83.

[60] Vatavu, R.-D., & Wobbrock, J. O. (2015). Formalizing Agreement Analysis for Elicitation Studies: New Measures, Significance Test, and Toolkit. In Proceedings of the 33rd Annual ACM Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI '15) (pp. 1325–1334). Association for Computing Machinery, New York, NY, USA.

[61] Villarreal-Narvaez, S., Sluÿters, A., Vanderdonckt, J., & Vatavu, R.-D. (2024, May). Brave New GES World: A Systematic Literature Review of Gestures and Referents in Gesture Elicitation Studies. ACM Computing Surveys, 56(5), Article 128, 55 pages.

[62] Visnovcova, Z., Ferencova, N., Olexova, L. B., & Tonhajzerova, I. (2021). Complex sympathetic arousal during negative emotional stress. European Psychiatry, 64(S1), S486-S486.

[63] Wang, X., Burger, B., & Wöllner, C. (2024). Tapping to drumbeats in an online experiment changes our perception of time and expressiveness. Psychological Research, 88, 127–140.

[64] Wang, X., Yin, X., Liu, P., Wang, A., Mu, W., Xu, J., Lu, W., Chen, Z., Zhou, Y., Xu, S., & Wang, Y. (2023, August 7). The effect of Baduanjin Qigong combined with five-elements music on anxiety and quality of sleep in asymptomatic patients with COVID-19 infection: A randomised controlled trial. Heliyon, 9(8), e18962.

[65] Yang, T., Wang, S., Wang, R., Wei, Y., Kang, Y., Liu, Y., & Zhang, C. (2021). Effectiveness of five-element music therapy in cancer patients: A systematic review and meta-analysis. Complementary Therapies in Clinical Practice, 44, 101416.
[66] Yang, M., Deng, X., & An, S. (2021). The Immediate and Lasting Effect of Emotion Regulation in Adolescents: An ERP Study. International Journal of Environmental Research and Public Health, 18(19), 10242.
[67] Yao, Y., & Xu, D. (2024). Unconscious cognitive reappraisal and unconscious expression suppression regulate emotional responses: an ERP study. Curr Psychol, 43, 7772–7784.
[68] 叶浩生, 苏佳佳, 苏得权.(2021). 身体的意义：生成论视域下的情绪理论. 心理学报, 53(12), 1393-1404.
[69] Yuan, J., Zhang, Y., Zhao, Y., et al. (2023). The Emotion-Regulation Benefits of Implicit Reappraisal in Clinical Depression: Behavioral and Electrophysiological Evidence. Neurosci. Bull., 39, 973-983.
[70] 张杰, 徐芳, 杜渐. (2011). 中医五音疗法探析. 长春中医药大学学报, 27(05), 702-704.
[71] 张瑾, 许销冰, 庄晓涵. (2024). 产品包装的医药符号线索对产品偏好的影响: 感知有效性和规避情绪的中介作用. 心理学报, 56(12), 1836-1850.
[72] 张丽, 潘发达. (2017). 速度与调式在诱发情绪反应中的作用:来自中西方传统音乐的证据. 心理学探新(06), 549-554.
[73] 张明. (2006). 把玩核桃养生操. 中国中医药出版社.
[74] Zhang, Y., Li, S., Gao, K., et al. (2023). Implicit, But Not Explicit, Emotion Regulation Relieves Unpleasant Neural Responses Evoked by High-Intensity Negative Images. Neurosci. Bull., 39, 1278–1288.
[75] Zhao, L., Yang, L., Shi, H., Xia, Y., Li, F., & Liu, C. (2017). Evaluation of consistency of HRV indices change among different emotions. In 2017 Chinese Automation Congress (CAC) (pp. 1-6). Jinan, China.
[76] Zheng, C. (2022, July 8). CONSTRUCTION OF MULTIMODAL HEALING SPACE BASED ON INDIVIDUAL EMOTIONAL BEHAVIOR CHANGES. International Journal of Neuropsychopharmacology, 25(Suppl 1), A73–A74.

（通讯作者：欧静 E-mail: jingou@hnu.edu.cn； 罗玮 E-mail: luowei.1994@foxmail.com）

作者贡献声明：

李天天：提出研究思路，设计研究方案；论文最终版本修订；进行实验；采集、清洗和分析数据；

欧静：论文修改；论文最终版本修订；

罗帏：论文修改；论文最终版本修订；

范雨晴，王依依：设计研究方案；进行实验。